

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: X2011230507

UDC\_\_\_\_\_

厦门大学

工 程 硕 士 学 位 论 文

# 基于 OpenGL 的医学图像三维可视化 平台的设计与实现

Design and Implementation of Medical Image 3d  
Visualization Platform Based on OpenGL

胡新宸

指 导 教 师: 夏侯建兵副教授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩日期: 2013 年 11 月

学位授予日期: 2013 年 月

指 导 教 师: \_\_\_\_\_

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

2013 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（    ☒    ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘 要

随着计算机图形学技术的发展,人们对三维信息的需求与日俱增,而随着三维可视化技术的迅猛发展,医学图像处理技术对医学科研及临床实践的作用和影响日益增大。三维成像结果使临床医生对人体内部病变部位的观察更直接、更清晰,从而大大提高医生对患者病情的诊断的效率与准确性。因此,医学图像处理技术一直受到国内外有关专家的高度重视。

本文主要介绍并实现三维可视化技术中的面绘制与体绘制两种算法及他们的优化算法,并通过 OpenGL、MITK 类库和 MFC 三种技术阐述了两种算法的编程实现,并对算法结果进行对比。

文中实现平台基于 OpenGL、MITK 类库和 MFC 技术实现完成。其中 OpenGL 具有使用简便,效率高等特点,它是近几年发展起来的一个性能卓越的三维图形标准,是在 SGI 等多家世界闻名的计算机公司的倡导下,以 SGI 的 GL 三维图形库为基础制定的一个通用共享的开放式三维图形标准;MITK 是一个医学影像处理与分析 C++类库,拥有灵活的接口和许多高效的绘制算法。MFC (Microsoft Foundation Classes),同 VCL 类似,是一种 Application Framework,该类库提供一组通用的可重用的类库供开发人员使用。MFC 用于在 C++环境下编写应用程序的一个框架和引擎。MFC 不只是一个功能单纯的界面开发系统,它提供的类绝大部分用来进行界面开发,关联一个窗口的动作。通过以上技术以及算法,本平台主要实现将 CT 拍摄的二维图像组转换为三维立体图像的功能,同时实现对三维图像的旋转、拉伸、移动以及着色等方便医生观察成像结果的互动功能,使医生能方便快捷的使用本平台生成的三维成像结果,提高医生工作效率与诊断准确性。

**关键词:** 三维可视化技术; 面绘制算法; 体绘制算法; 医学图像

## Abstract

With the development of computer graphics technology, the demand for three-dimensional information is increasing. With the rapid development of three-dimensional visualization technology, the effect and influence that medical image processing technology use on medical research and clinical practice is increasing. The results of three-dimensional imaging make clinicians to observe of the lesion within the human body more direct and clear, thus greatly improving the efficiency and accuracy that clinicians diagnosis the conditions of patients. Therefore, medical image processing technology has been highly valued domestic and foreign experts .

In this paper, three-dimensional visualization technology in both surface rendering and volume rendering algorithms and their optimization are introduced, through OpenGL, MITK class library and MFC, we describe the implement of two algorithms and contrast the results of these algorithm.

In this paper, the implementation of platform is based on OpenGL, MITK class library, MFC technology to complete. OpenGL is easy to use and high efficiency, which is a recently developed three-dimensional graphics performance standards. It is initiated by the SGI and many other world-famous computer companies and a common shared and open three-dimensional graphics standard based on SGI's GL three-dimensional graphics library; MITK is a medical image processing and analysis of C++ class library, with a flexible interface and many efficient rendering algorithms. MFC (Microsoft Foundation Classes) is similar with VCL, which is an Application Framework. The library provides a set of generic and reusable class library for developers. MFC is used for writing applications under a framework and engine in C++ environment. MFC is not only a simple interface development system, but also provides most of the classes used to interface development, associating with a window action. Through the above techniques and methods, the platform will implement function that CT, MRI and other equipment capture two-dimensional image into three-dimensional image, simultaneously achieving interactive features three-dimensional image rotation, stretching, movement and color up, allowing doctors to observe the results of imaging. Doctors are allowed to use the platform to generate the results of three-dimensional imaging, improving efficiency and diagnostic accuracy of doctors.

**Key Words:** Three-Dimensional Visualization; Surface Rendering Algorithm; Volume Rendering Algorithms; Medical Image

## 目录

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪 论</b>       | 1  |
| 1.1 研究背景               | 1  |
| 1.2 国内外现状              | 2  |
| 1.2.1 国外现状             | 2  |
| 1.2.2 国内现状             | 2  |
| 1.3 发展趋势与应用范围          | 3  |
| 1.4 研究动机与内容            | 4  |
| 1.5 论文结构               | 4  |
| <b>第 2 章 关键技术及算法介绍</b> | 6  |
| 2.1 关键开发技术简介           | 6  |
| 2.1.1 OpenGL 类库        | 6  |
| 2.1.2 MFC 类库           | 8  |
| 2.1.3 MIKT 开发包         | 8  |
| 2.1.4 DICOM 标准         | 9  |
| 2.1.5 CT 图像            | 9  |
| 2.1.6 三维几何模型           | 10 |
| 2.2 三维数据场可视化基础知识       | 10 |
| 2.2.1 三维重建算法的分类        | 10 |
| 2.2.2 三线性插值算法          | 10 |
| 2.2.3 移动立方体法           | 12 |
| 2.2.4 光线投射算法           | 12 |
| 2.2.5 体绘制与面绘制的比较       | 13 |
| <b>第 3 章 需求分析</b>      | 15 |
| 3.1 可行性分析              | 15 |
| 3.1.1 技术可行性分析          | 15 |
| 3.1.2 算法效率分析           | 15 |
| 3.2 软件需求分析             | 16 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 3.2.1 功能需求描述 .....           | 16        |
| 3.2.2 功能架构 .....             | 17        |
| 3.2.3 用例分析 .....             | 18        |
| <b>3.3 系统开发环境 .....</b>      | <b>20</b> |
| <b>3.4 本章小结 .....</b>        | <b>20</b> |
| <b>第4章 系统设计 .....</b>        | <b>22</b> |
| <b>4.1 数据结构设计 .....</b>      | <b>22</b> |
| 4.1.1 数据模型 .....             | 22        |
| 4.1.2 算法模型 .....             | 23        |
| <b>4.2 平台模块设计 .....</b>      | <b>24</b> |
| 4.2.1 数据加载模块设计 .....         | 24        |
| 4.2.2 数据预处理模块设计 .....        | 25        |
| 4.2.3 三维重建模块设计 .....         | 26        |
| 4.2.4 数据显示模块设计 .....         | 27        |
| <b>4.3 本章小结 .....</b>        | <b>29</b> |
| <b>第5章 系统实现 .....</b>        | <b>31</b> |
| <b>5.1 原始文件处理模块的实现 .....</b> | <b>31</b> |
| 5.1.1 文件读取模块的实现 .....        | 31        |
| 5.1.2 预处理模块的实现 .....         | 32        |
| <b>5.2 三维重建模块的实现 .....</b>   | <b>32</b> |
| 5.2.1 移动立方体算法的实现 .....       | 32        |
| 5.2.2 移动立方体算法存在的问题 .....     | 38        |
| 5.2.3 移动立方体算法的优化 .....       | 38        |
| 5.2.4 移动立方体算法实现最终效果 .....    | 40        |
| 5.2.5 移动立方体算法的点与线显示 .....    | 41        |
| 5.2.6 光线投射算法的实现 .....        | 42        |
| 5.2.7 光线投射算法的优化 .....        | 47        |
| <b>5.3 辅助模块的实现 .....</b>     | <b>49</b> |
| 5.3.1 放大镜功能实现 .....          | 49        |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| 5.3.2 三维互动功能的实现 .....  | 51        |
| 5.4 程序界面 .....         | 52        |
| 5.5 本章小结 .....         | 53        |
| <b>第6章 总结与展望 .....</b> | <b>54</b> |
| 6.1 总结 .....           | 54        |
| 6.2 展望 .....           | 54        |
| <b>参考文献 .....</b>      | <b>55</b> |
| <b>致谢 .....</b>        | <b>57</b> |



# Contents

|  |    |
|--|----|
| <b>Chapter 1 Preface</b>   | 1  |
| <b>1.1 Background</b>  | 1  |
| <b>1.2 Situation at home and abroad</b>                            | 2  |
| 1.2.1 Situation abroad   | 2  |
| 1.2.2 The domestic situation                                       | 2  |
| <b>1.3 Trends and Applications</b>                                 | 3  |
| <b>1.4 Motivation and content</b>                                  | 4  |
| <b>1.5 Thesis structure</b>  | 4  |
| <b>Chapter 2 Key technologies and Algorithm introduction</b>       | 6  |
| <b>2.1 Brief introduction of key develop technologies</b>          | 6  |
| 2.1.1 OpenGL Library   | 6  |
| 2.1.2 MFC Library  | 8  |
| 2.1.3 MIKT package   | 8  |
| 2.1.4 DICOM standard   | 9  |
| 2.1.5 CT images  | 9  |
| 2.1.6 Dimensional geometric model                                  | 10 |
| <b>2.2 Three-dimensional data visualization Basics</b>             | 10 |
| 2.2.1 Classification of three-dimensional reconstruction algorithm | 10 |
| 2.2.2 Tri-linear interpolation algorithm                           | 10 |
| 2.2.3 Marching cubes algorithm                                     | 12 |
| 2.2.4 Ray casting algorithm  | 12 |
| 2.2.5 Volume rendering and surface rendering                       | 13 |
| <b>Chapter 3 Requirements analysis</b>                             | 15 |
| <b>3.1 Feasibility analysis</b>                                    | 15 |
| 3.1.1 Technical feasibility analysis                               | 15 |
| 3.1.2 Algorithm efficiency analysis                                | 15 |
| <b>3.2 Requirements analysis</b>                                   | 16 |
| 3.2.1 Functional requirements description                          | 16 |
| 3.2.2 Functional structure   | 17 |
| 3.2.3 Use case analysis  | 18 |
| <b>3.3 System development environment</b>                          | 20 |
| <b>3.4 Chapter summary</b>   | 20 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Chapter 4 System design</b>                                    | 22 |
| <b>4.1 Data structure design</b>                                  | 22 |
| 4.1.1 Data model  | 22 |
| 4.1.2 Algorithm model   | 23 |
| <b>4.2 Platform module design</b>                                 | 24 |
| 4.2.1 Data loading module design                                  | 24 |
| 4.2.2 Data preprocessing module design                            | 25 |
| 4.2.3 Three-dimensional reconstruction module design              | 26 |
| 4.2.4 Data display module design                                  | 27 |
| <b>4.3 Chapter summary</b>  | 29 |
| <b>Chapter 5 System implement</b>                                 | 31 |
| <b>5.1 Original document handing module implementation</b>        | 31 |
| 5.1.1 Implementation of file reading module                       | 31 |
| 5.1.2 Pretreatment module implementation                          | 32 |
| <b>5.2 Three-dimensional reconstruction module implementation</b> | 32 |
| 5.2.1 Implements of Marching cubes algorithm                      | 32 |
| 5.2.2 Problems exist in Marching cubes algorithm                  | 38 |
| 5.2.3 Optimization of Marching cubes algorithm                    | 38 |
| 5.2.4 Final results of Marching cubes algorithm                   | 40 |
| 5.2.5 Illustration of Dots and lines of Marching cubes algorithm  | 41 |
| 5.2.6 Implements of ray casting algorithm                         | 42 |
| 5.2.7 Optimization of ray casting algorithm                       | 47 |
| <b>5.3 Implements of Auxiliary module</b>                         | 49 |
| 5.3.1 Implements of Magnifier                                     | 49 |
| 5.3.2 Implements of Three-dimensional interactive                 | 51 |
| <b>5.4 The main interface of program</b>                          | 52 |
| <b>5.5 Chapter summary</b>  | 53 |
| <b>Chapter 6 Conclusions and outlook</b>                          | 54 |
| <b>6.1 Conclusions</b>  | 54 |
| <b>6.2 Outlook</b>  | 54 |
| <b>References</b>   | 55 |
| <b>Acknowledgments</b>  | 57 |

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景

计算机图形学(Computer Graphics)是一种使用数学算法将二维或三维图形转化为计算机显示器的栅格形式的科学。简单地说,计算机图形学的主要研究内容就是研究如何在计算机中表示图形、以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。它的主要的目的就是要利用计算机产生令人赏心悦目的真实感图形。为此,必须建立图形所描述的场景的几何表示,再用某种光照模型,计算在假想的光源、纹理、材质属性下的光照明效果。所以计算机图形学与另一门学科计算机辅助几何设计有着密切的关系。事实上,图形学也把可以表示几何场景的曲线曲面造型技术和实体造型技术作为其主要的研究内容。同时,真实感图形计算的结果是以数字图像的方式提供的,计算机图形学也就和图像处理有着密切的关系。计算机图形学的研究内容非常广泛,如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法、非真实感绘制,以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等<sup>[1]</sup>。

随着计算机图形学技术的发展,我们对二维世界的研究日益成熟,并开始向三维领域扩展。如今,三维可视化技术已经渗透到各个学科中去,在地理学、资源环境学、测绘学、海洋学、建筑学、生物医学等学科都能找到它的用武之地,科学计算的可视化技术也应运而生。

科学计算可视化是发达国家八十年代后期提出并发展起来的一门新兴技术,它将科学可视化计算的计算结果数据转换为几何图形及图像信息在屏幕上显示出来并进行交互处理,成为发现和理解科学计算过程中各种现象的有力工具。1987年2月英国国家科学基金会在华盛顿召开了有关科学计算可视化的首次会议。会议一致认为“将图形和图像技术应用于科学计算是一个全新的领域”科学家们不仅需要分析由计算机得出的计算数据,而且需要了解在计算机过程中数据的变化。会议将这一技术定名为“科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)”。科学计算可视化将图形生成技术图像理解技术结合在一起,它即可理解送入计算机的图像数据,也可以从复杂的多维数据中产生图形。它涉及到下列相互独立的几个领域:计算机图形学、图象处理、计算机视觉、计算机辅助设计及交互技术等。科学计算可视按其实现的功能来分,可以分为三个档次:

(1) 结果数据的后处理;(2) 结果数据的实时跟踪处理及显示;(3) 结果数据的实时

显示及交互处理。

在医学领域，70 年代 CT（Computed Tomography）和 MRI（Magnetic Resonance Imaging）技术的出现，使获取人体内部数据的愿望成为现实。三维可视化技术可以将一系列的二维 CT 图像或 MRI 图像重构成三维人体结构，也使人类认识自身的内部结构成为可能。所以对医学三维可视化平台的研究在人类了解自身结构以及扩展计算机应用领域方面都具有非常重要的意义。

医学三维可视化平台就是一个将科学计算可视化与医学图像信息相结合，允许医生将二维图像转换为三维人体结构进行观察，使医生有效地参与数据的处理与分析过程，便于医生从多角度、多层次进行观察和分析的图像数据处理工作站，是当今医疗 PACS（Picture Archiving and Communication Systems）系统的一个重要组成部分<sup>[2][3][4]</sup>。

## 1.2 国内外现状

### 1.2.1 国外现状

自 90 年代以来，世界各国有关医学图像可视化的研究方兴未艾。1996 年由美国国家橡树岭实验室（ORNL, Oak Ridge National Laboratory）生命科学部 Easterly 博士牵头酝酿“虚拟人计划”（Virtual Human Project Initiative）；1997 年华盛顿大学发起了“生理人计划”（The Physiome Project）；2000 年由韩国 Ajou 大学和韩国科技信息研究所承担韩国“可视人计划”；2002 年日本决定开始实施“日本虚拟人计划”。另外，德国、英国、法国等欧洲国家也展开了虚拟人研究。近年来，国内虚拟人的研究也得到迅速发展，并陆续得到了国家 863 等计划的支持。目前，已有不少科学计算可视化工作者在 Internet 上浏览这些数据，或者在不同物质分割的基础上实现人体内部不同结构的三维重构，其研究工作非常活跃。这一被称为“可见人体”计划的实现，将极大的推动医学教育、医学科研以及临床医疗技术的发展。

医学图像三维重建及可视化已广泛应用于医学诊断、整形与假肢外科手术、矫正手术、辐射治疗中。在国外，已经有了三维医学影像处理的商品化系统。如加拿大的 Allegro 系统、美国通用电气公司的 AW4.0、美国俄亥俄超级计算机中心开发的 APE 系统、德国达姆斯达特 FHG-AGD 研究中心开发的 VIS-A-VIS 系统等<sup>[5]</sup>。

### 1.2.2 国内现状

我国于 2001 年由秦笃烈等人先后向卫生部和科技部领导以及吴阶平副委员长提出在我国发展数字人研究的建议，得到高度评价和支持。著名临床解剖学家钟世镇院士分别于 2001 年 11 月和 2003 年 9 月主持召开了以数字人为主题的第 194 次和 208 次香山

科学会议。2001 年 11 月启动数字化虚拟人体实验研究的 863 项目,相关的”数字化虚拟人体若干关键技术”和”数字化虚拟中国人的数据结构与海量数据库系统”两项课题相继列入国家 863 项目,由中科院计算所、首都医科大学、华中科技大学和第一军医大学等单位协作攻关。第三军医大学于 2002 年 10 月首先宣布完成了”首例中国数字化可视人体数据集”的采集工作,于 2003 年 2 月,完成了第一例中国女性数字化可视人体数据集的可视化研究,即利用与清华大学联合研制的三维可视化软件包进行了器官结构的图像分割和立体重建,并与香港中文大学签署了联合研究协议,通过合作研究,实现了人体结构可视化。自此,我国成为继美国和韩国后,第三个拥有本国虚拟人数据集的国家。2003 年 3 月,第一军医大学研究小组向外界宣布,中国女虚拟人初步完成了三维可视化。第一军医大学虚拟人的三维可视化由首都医科大学生物医学工程学院完成。浙江大学、清华大学、东南大学、大连理工大学、中科院自动化所,东软集团等也做了大量研究,并开发了一些实验系统。但是,国内目前尚无成熟的商用系统。所以此领域有很大的发展空间和研究价值<sup>[6]</sup>。

### 1.3 发展趋势与应用范围

随着数字医疗与远程医疗的发展,HIS 系统,PACS 系统以及 LIS 系统的集合已经是未来医疗数字化的必然趋势,而作为 PACS 系统中一个重要的组成部分,一个好的三维成像平台所带来的效率与质量的提升更是尤为重要,由于医学图像数据往往很大,点与点之间的通信要求也越来越高,而优秀的 PACS 系统能提高对 DICOM 类型文件的解析速度,减少传输数据量,甚至可以直接传输成像后的三维结果。所以,三维可视化平台的未来一定脱离不开互联网络的扶持,真正做到医生之间互相协助诊疗,对特殊的病例进行探讨,病例之间的相互交换。使医生快速,便捷的找到以往从未见过的病例,让医生对患者的诊断不仅像以往一样基于自己的经验,也可以通过互联平台对从未接触过的病情进行搜索诊断。

医学三维可视化平台主要应用于医学影像设备,是医疗 PACS 系统的一个重要组成部分,三维可视化平台不仅使医生更直观的对病患的各部位进行观察,还可以利用平台中强大的二维处理功能配合医生临床经验更快速准确的对患者病情进行诊断。其中图像的分割、配准以及颜色处理等功能对医生来说已经成为必不可少的功能,DICOM3.0 协议涉及到的传输,打印等一系列功能也完美的融入到医疗应用平台当中,使得医生能够通过特定打印机打印出符合临床要求的图片。可以说三维可视化平台已经延伸到医疗影像平台的各个领域,不论 CT,彩超还是核磁共振,都需要有一个与之配套的平台供医

生操作，而不再是以往那样仅能依靠硬件设备提供的基础功能进行患者的诊断工作。本系统主要面向的用户为医院中 CT 科室的主治大夫，与 CT 图像配合使用，主要对一组 CT 图像进行三维成像功能，同时添加旋转，移动等辅助功能以及二维图像的分割功能。

## 1.4 研究目标与内容

本文的研究工作是创建一个应用性平台，该平台可以实现医疗常用格式的读取与处理工作。这些工作不仅包括常用的二维 CT 图像的放大、拖拽等功能，也提供了二维 CT 图像转变为三维图像的算法供用户操作。算法方面，移动立方体与光线透射这两种算法均由本人自主完成，同时通过 MITK 提供接口完成三维图像的交互功能。

总之，本文在介绍并实现三维可视化成像算法的同时也着重研究三维可视化平台在工程应用方向的实现方法。从用户的角度对平台进行分析设计与实现，并对平台的主要功能进行了优化处理。

本文具体的研究内容有：

- (1) 简单介绍面绘制算法与体绘制算法的主要思想。
- (2) 详细介绍了面绘制算法中移动立方体法与体绘制算法中光线投射法的编程实现过程。
- (3) 从用户角度分析了医疗可视化平台所需的组成部分及功能，根据其特点对主体算法进行优化。
- (4) 本文完成了一个可以实现医学 CT 图像的三维可视化处理交互系统，并对其结果进行优化。

## 1.5 论文结构

本文共分为六章，从绪论到结论。论文的章节安排如下：

第一章为绪论部分，主要介绍了课题的背景，国内外发展现状及开展该方向工作的重要意义。

第二章介绍了该平台所使用的主要计算机科学技术，并对平台中使用的数学算法进行了简要介绍。

第三章从详细分析了医疗三维可视化平台所需要实现的功能，并从技术层面对实现风险进行了分析。

第四章论述了医疗可视化平台的设计思想，从用户需求对系统功能与模块的设计进行了详细论述。

第五章论述医疗可视化平台的实现过程与结果。

第六章总结了论文所做的工作及取得的成果,同时指出该平台的不足之处与未来的发展方向。

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第 2 章 关键技术及算法介绍

### 2.1 关键开发技术简介

#### 2.1.1 OpenGL 类库

OpenGL 最早是由 SGI 开发的跨平台的工业标准的 3D 图形硬件的软件接口，它原来是工作站上的一个图形软件库，作为一个优秀的专业化的 3D API，它不仅可以绘制基本图形，而且提供了大量处理图形图像的函数与过程。随着 OpenGL 成为高性能图形与交互式视景处理的工业标准，目前几乎所有的 3D 图形显示卡都已经支持 OpenGL。它强大的三维真实感图形功能，使得它在游戏开发、三维设计等逐步扩展到 3D 图形、图形处理、广告、虚拟实现、科学计算可视化、仿真等多种领域多个层面发挥着重要的作用<sup>[7]</sup>。

作为一种图形与硬件的接口，OpenGL 由下列几部分组成：OpenGL 核心函数、OpenGL 实用库函数、OpenGL 辅助库函数、Windows 专用函数、Win32 API 函数、OpenGL 状态变量。同时它也包括较多图形函数，开发者可以用这些函数来建立三维模型和进行三维实时交互。与其他图形程序设计接口不同，OpenGL 提供了十分清晰明了的图形函数，因此初学的程序设计员也能利用 OpenGL 的图形处理能力和 1670 万种色彩的调色板很快地设计出三维图形以及三维交互软件<sup>[8]</sup>。

OpenGL 包括了 250 多个图形操作函数，开发者可以利用这些函数来构造景物模型、进行三维图形交互软件的开发。这些函数主包含在几个与 OpenGL 相关的库中。其中，核心库包含有 115 个函数，函数名的前缀为 gl。这部分函数用于常规的、核心的图形处理。此函数由 gl.dll 来负责解释执行。由于许多函数可以接收不同数以下几类。根据类型的参数，因此派生出来的函数原形多达 300 多个。本文实验主要用到的核心库中的函数及其作用如表 2.1 所示。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库